

PEMBUATAN NANO-KAROTENOID ASAL KONSENTRAT MINYAK SAWIT DENGAN CARA SONIKASI

THE MAKING OF NANO-CAROTENOID FROM CONCENTRATES OF PALM OIL BY SONICATION METHODS

Tita Aviana, Tiurlan F. Hutajulu dan Mirna Isyanti

Balai Besar Industri Agro Bogor

Jl Ir H Juanda No 1, Bogor

e-mail : tita-a@kemenperin.go.id

Diterima: 25 April 2014; Direvisi: 20 Mei 2014 – 7 Oktober 2014; Disetujui: 17 Oktober 2014

Abstrak

Penelitian pembuatan nano karotenoid asal minyak sawit dengan cara sonikasi telah dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari pembuatan nano-karotenoid dengan teknologi sonikasi serta mempelajari proses pembuatan serbuk nano-karotenoid sebagai alternatif sediaan suplementasi provitamin A. Penelitian ini meliputi 4 tahap kegiatan yaitu: (1) pembuatan nano konsentrat karotenoid dengan cara sonikasi pada intensitas 80% selama 1-5 jam; (2) formulasi emulsi nano karotenoid; (3) pembuatan formula untuk nano-karoten kering; (4) analisis produk. Hasil penelitian diperoleh bahwa ukuran partikel produk nano konsentrat karotenoid yang terbaik diperoleh dengan proses sonikasi dalam waktu 2 jam yaitu kurang dari 100 nm dengan kandungan karotenoid sebesar 44.579,31 ppm. Adapun formula emulsi nano karotenoid yang stabil menggunakan emulsifier Tween 80 dengan perbandingan konsentrat:air:emulsifier adalah 2:2:1. Produk serbuk nanokaroten terbaik dibuat dengan menggunakan penyalut maltodekstrin (1:1) dengan cara pengering semprot. Hasil analisis produk yaitu kadar air 4,25% serta kandungan karotenoid dalam formula emulsi produk enkapsulasi adalah 9.496,663 ppm.

Kata Kunci : emulsifier, enkapsulasi, karotenoid, minyak sawit, sonikasi.

Abstract

The research of nano-carotenoid making from palm oil carotenoids by sonication method have been conducted. This study was divided into the following stages: (1) the manufacture of nano carotenoid concentrations by sonication process at 80% intensity for 1-5 hours, (2) nano emulsion formulation of carotenoids, (3) the preparation of nano-carotene formula for drying process, (4) product analysis. The smallest particle size of carotenoid concentrations obtained by 2 hours sonication process with 44579.31 ppm carotenoid content. The best composition for nano-carotenoid emulsion is concentrat: water: Tween-80 for 2:2:1. Powder form obtained by using spray drying method. The results of the analysis shows moisture of the products is 4.25%, while carotenoid content of the product is 9,496.663 ppm.

Key words : emulsifier, encapsulation, carotenoid, crude palm oil, sonication.

PENDAHULUAN

Sumber vitamin A alami dapat berasal dari pangan hewani dan pangan nabati. Pangan hewani mengandung retinol yang merupakan bentuk aktif vitamin A, sedangkan pangan nabati mengandung karotenoid yang merupakan prekursor (provitamin) vitamin A (Sies *et al.*, 1992). Salah satu sumber karotenoid alami yang penting adalah minyak sawit. Selama ini penelitian tentang pemanfaatan minyak sawit merah terus dilakukan untuk meningkatkan nilai tambah minyak sawit. Salah satunya adalah sebagai suplemen dan fortikan pangan. Namun dengan kemajuan teknologi saat ini, nanoteknologi

merupakan salah satu teknologi yang sedang dikembangkan termasuk peran dalam bidang pangan.

Karotenoid adalah pigmen organik yang terjadi secara alamiah dalam tumbuhan dan organisme berfotosintesis lainnya seperti ganggang, beberapa jenis fungi dan beberapa bakteri. Menurut Sies *et al.* (1992) serta Kiokias dan Gordon (2004), senyawa karotenoid seperti beta-karoten, *lycopene*, *lutein* dan *astaxanthin* mempunyai sifat antioksidan yang unik, sehingga banyak mendapat perhatian oleh peneliti untuk diteliti secara lebih mendalam.

Salah satu sumber karotenoid alami yang penting adalah minyak sawit. Pada minyak sawit mentah (*Crude Palm Oil*,

CPO), kandungan karotenoid berkisar antara 500 – 1000 ppm, yang didominasi oleh alpha dan beta karoten yang tidak ada pada minyak sayuran lain, dan merupakan dua isomer provitamin A yang paling aktif Williams *et al.*, 1998)

Sifat fisik dan kimia karoten adalah larut dalam lemak, kloroform, benzena, karbon disulfida dan petroleum eter; dan tidak larut dalam air, etanol dan metanol dingin; tahan terhadap panas apabila dalam keadaan hampa udara serta peka terhadap autooksidasi, oksidasi dan cahaya, sehingga mempunyai keterbatasan dalam aplikasinya. Karotenoid yang berasal dari tanaman/tumbuhan diperkirakan terikat dalam protein kompleks atau terdapat dalam bentuk kristal yang menyebabkan kemampuan bioavailabilitasnya menjadi rendah (Williams *et al.*, 1998). Dengan karakteristik tersebut, untuk memudahkan aplikasinya dan penyerapan dalam tubuh sebagai sumber karoten, maka diperlukan teknologi nano untuk membuat beta-karoten menjadi partikel nano (ϕ : 1-100 nm) yang dapat larut dalam air, yaitu melalui proses emulsifikasi. Pembuatan nano-emulsi yang berisi karotenoid (nanodispersi) melalui proses teknik emulsifikasi dan evaporasi, pertama kali dilaporkan oleh Tan dan Nakajima (2005), dan emulsifier merupakan bahan yang sangat penting dalam sistem emulsi atau nano-emulsi. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pembuatan nano-karotenoid dengan menggunakan teknologi sonikasi dan proses pembuatan nano-enkapsulasi karotenoid asal minyak sawit.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah konsentrat karoten asal minyak sawit diperoleh dari PPKS (Pusat Penelitian Kelapa Sawit) Medan, bahan penyalut (maltodekstrin), bahan pengemulsi (*Tween 80*, *Tween 20*) diperoleh dari toko kimia di Bogor, serta bahan kimia untuk analisis meliputi pelarut *n*-heksan, petroleum eter, etanol netral, indikator pp 1%, larutan KOH 0,1

N yang diperoleh dari Balai Besar Industri Agro (BBIA) Bogor.

Peralatan

Peralatan yang digunakan adalah *ultra thurax homogenizer, sonicator* (UP-500 *Ultrasonic Processor*, E-Chrom TechCo. Ltd.), pengering semprot, peralatan untuk pengujian seperti oven pengering merek *Memmert*, labu soxhlet, neraca analitik skala 0,0001 gr, penangas air, buret, erlenmeyer, PSA (*Particle Size Analyzer*), SEM (*Scanning Electron Microscope*), spektrofotometer, dan HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*), dan peralatan gelas.

Penelitian ini dilakukan di Balai Besar Industri Agro (BBIA) Bogor, Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan, dan Lab.Kimia – Fisika Terapan LIPI Puspipetek Serpong, Tangerang.

Metode

Penelitian proses nano-enkapsulasi karotenoid dari minyak sawit dengan cara sonikasi ini dibagi menjadi empat tahap kegiatan. Keempat tahapan tersebut adalah (1) Proses pengecilan ukuran konsentrat karotenoid asal minyak sawit menggunakan sonikator dengan lama waktu 1,2,3,4,dan 5 jam, dan (2) Formulasi emulsi nano karotenoid; (3) Pembuatan formula untuk nano-karoten kering; (4) Analisis produk.

Lingkup rancangan penelitian yang dilakukan :

1. Proses Pembuatan Nano-Karotenoid

Pengecilan ukuran partikel karotenoid menjadi nano karotenoid dilakukan menggunakan alat sonikator. Sebanyak 100 mL konsentrat karotenoid dimasukkan ke dalam wadah gelas ukuran volume 250 mL. Kemudian bagian luar wadah gelas tersebut dilapisi dengan *aluminium foil* guna menghindari kerusakan karotenoid yang rentan terhadap cahaya. Selain rentan terhadap cahaya, karotenoid juga rentan terhadap panas. Untuk mencegah naiknya suhu selama proses berlangsung maka wadah gelas yang berisi karotenoid dimasukkan pada gelas piala 500 mL yang telah diisi dengan air dingin sebanyak 200 mL.

Selanjutnya wadah yang telah diisi dengan karotenoid kasar dimasukkan ke dalam alat sonikator dengan kondisi *probe*, baik *probe* sonikator maupun *probe thermocouple*, direndam dalam konsentrat karotenoid. Setelah itu alat siap dinyalakan dengan cara menekan tombol power sambil intensitas power diatur sampai pada kondisi 80%. Kemudian biarkan alat menyala sampai waktu yang telah ditentukan dan apabila proses telah selesai, hasil nano karotenoid dikeluarkan dan kemudian dilakukan analisis. Adapun alat sonikator dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alat Sonikator (UP-500 Ultrasonic Processor)

2. Formulasi Emulsi untuk Konsentrat Karotenoid

Sebelum pembuatan serbuk nano-karotenoid, ekstrak nano-karotenoid dibuat dalam bentuk emulsi dengan menggunakan emulsifier *Tween 20* dan *Tween 80* agar dapat bercampur dengan bahan pengisi (maltodekstrin) secara sempurna.

Tabel 1. Formulasi Emulsi Menggunakan Konsentrat Karotenoid

	Formulasi 1	Formula si 2	Formula si 3	Formula si 4
Konsentrat	40%	36%	30%	40%
Air	40%	45%	50%	40%
Emulsifier	Tw.20, 20%	Tw.20, 19%	Tw.80, 20%	Tw.80, 20%

Adapun formulasi pembuatan emulsi nano-karotenoid seperti terlihat pada Tabel 1.

3. Proses Enkapsulasi Nano Karotenoid

Tahapan selanjutnya adalah pembuatan serbuk nano-karotenoid. Pada tahap ini, hasil formulasi emulsi yang paling stabil dari tahap sebelumnya ditambah maltodekstrin sebelum dilakukan pembuatan bubuk dengan menggunakan alat *spray dryer*. Adapun tahapan proses sebagai berikut: Pertama, maltodekstrin ditimbang dan dilarutkan dalam air dengan perbandingan 25, 50, 75 dan 100% dari bobot emulsi yang digunakan. Untuk menghomogenkan larutan maltodekstrin dilakukan dengan menggunakan *homogenizer* dengan kecepatan pengaduk 1425 rpm, seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses Homogenisasi Maltodekstrin Sebelum Ditambahkan Emulsi Karotenoid

Kedua, ke dalam larutan maltodekstrin yang sudah homogen ditambahkan nano emulsi karotenoid sedikit demi sedikit, sambil dilakukan proses homogenisasi kembali sampai tercampur homogen maltodekstrin yang digunakan dalam penelitian divariasikan terhadap jumlah nano emulsi karotenoid, yaitu sebanyak 25, 50, 75 dan 100%. Selanjutnya, campuran nano emulsi karotenoid dan maltodekstrin yang sudah homogen dikeringkan melalui proses pengeringan semprot. Kondisi pengeringan semprot dikondisikan pada suhu terhadap konsentrasi inlet 180 °C

dan suhu outlet 80 °C dengan kecepatan pompa 40 rpm dengan aliran bahan 10 ml/menit. Campuran nano emulsi karotenoid dan maltodekstrin kontak dengan panas dalam proses pengeringan semprot ini dalam waktu 2 – 5 detik.

4. Analisis Produk

Pengamatan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi : perubahan ukuran partikel karotenoid (pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat PSA (Particle Size Analyzer), formulasi pengemulsi (dilakukan secara visual) dan pembuatan serbuk nano-karotenoid, pengamatan bentuk nano-enkapsulasi karotenoid (pengukuran dilakukan menggunakan alat PSA (*Particle Size Analyzer*), formulasi pengemulsi (dilakukan secara visual) dan pembuatan serbuk nano-karotenoid, pengamatan bentuk nano-enkapsulasi karotenoid (pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat SEM). Pengamatan dan pengujian dilakukan di Balai Besar Industri Agro (BBIA) Bogor dan Lab. Kimia – Fisika Terapan LIPI Puspiptek Serpong, Tangerang

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perubahan Ukuran Partikel Karotenoid

Pengecilan ukuran beta-karoten menjadi ukuran nano dilakukan karotenoid asal *crude palm oil* (CPO). Berdasarkan hasil analisis, kandungan beta-karoten CPO sebesar 498,00 ppm dan setelah dilakukan proses pembuatan konsentrat kandungan beta-karoten menjadi 30.430 ppm.

Untuk pengecilan ukuran beta-karoten dilakukan proses sonikasi untuk mendapatkan nano-partikel karoten dengan menggunakan alat sonikator pada intensitas 20, 40, dan 80% guna mendapatkan kondisi proses sonikasi yang optimal. Dari hasil percobaan sonikasi selama 1 jam proses, diketahui bahwa kondisi proses sonikasi yang optimal adalah pada intensitas 80%. Hal ini didukung dengan hasil uji PSA (*Particle Size Analyzer*) terhadap produk konsentrat karoten hasil sonikasi. Dengan

demikian, percobaan selanjutnya menggunakan proses sonikasi pada intensitas yang tinggi dengan waktu proses 1, 2, 3, 4 dan 5 jam untuk mendapatkan nano partikel karotenoid yang paling terkecil. Hasil pengujian PSA terhadap ukuran partikel Karotenoid hasil proses sonikasi seperti pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 terlihat bahwa ukuran partikel karotenoid yang terkecil diperoleh proses sonikasi selama 2 jam. Ukuran partikel pada perlakuan ini adalah antara 24,2 – 136,1 nm. Ukuran partikel karotenoid yang meningkat dengan semakin lamanya proses sonikasi karena karotenoid yang ukurannya terlalu kecil cenderung akan beraglomerasi satu sama lain sehingga pada saat diukur dengan PSA terjadi peningkatan ukuran partikel. Aglomerasi pada β -karoten menurut Liu *et. al.* (2007) dapat terjadi karena tiga hal, yaitu (1) Adanya energi permukaan yang tinggi; (2) Terjadinya proses kristalisasi sekunder; dan (3) Terjadi proses Ostwald (*Ostwald ripening*) yang terjadinya dipengaruhi oleh sifat fisika kimia dan distribusi partikel. Hal tersebut terlihat pada partikel yang disonikasi dengan waktu lebih panjang dari 2 jam dimana hasil pengukuran PSA-nya lebih besar daripada yang disonikasi selama 2 jam. Sedangkan pada sonikasi selama 1 jam, ukuran partikelnya lebih besar daripada yang disonikasi selama 2 jam karena proses yang dilakukan belum cukup lama untuk memotong partikel karotenoid menjadi ukuran nano.

Tabel 2. Ukuran Partikel Karotenoid Hasil Proses Sonikasi

Ukuran partikel (nm)	Waktu Proses Sonikasi				
	1 jam	2 jam	3 jam	4 jam	5 jam
Terkecil	134.8	24.2	131.7	471.2	802.0
Terbesar	797.7	136.1	753.4	2737.8	2292.1
Rata-rata	376	65.2	360.2	1301.9	1428.2

B. Formulasi Pengemulsi Nano-Karotenoid

Nano-emulsi karotenoid sangat menentukan dalam pembuatan nano-karotenoid bubuk. Dalam pembuatan emulsi dibuat dengan menggunakan 4 (empat) formula dan diamati secara visual tentang kesempurnaan emulsi dan kestabilannya. Dari hasil pengamatan pembuatan emulsi nano-karotenoid formulasi 1 yaitu campuran konsentrat nano karotenoid 40 %, air 40 % dan *Tween 20* sebanyak 20 % serta formulasi 4 yaitu campuran konsentrat nano karotenoid 40 %, air 40 % dan *Tween 80* sebanyak 20 % menunjukkan emulsi sempurna. Pengamatan secara visual menunjukkan bahwa emulsi yang dihasilkan formula 1 dan 4 dapat stabil selama lebih dari 7 hari. Sedangkan untuk Formulasi 2 yaitu campuran konsentrat nano karotenoid 36%, air 45% dan *Tween 20* sebanyak 19% dan formulasi 3 yaitu campuran konsentrat nano karotenoid 30 %, air 50 % dan *Tween 80* sebanyak 20 % tidak menghasilkan emulsi yang sempurna. Pembentukan emulsi tidak disempurna disebabkan adanya perbedaan perbandingan penggunaan konsentrat nano-karotenoid dengan air. Seperti diketahui bahwa senyawa organik yang berfungsi sebagai emulsifier memiliki dua gugus, baik polar maupun nonpolar dimana dapat menjaga kestabilan campuran minyak dan air membentuk emulsi.

Walaupun demikian didalam pencampurannya diperlukan perbandingan minyak dan air dalam jumlah yang sama agar jumlah gugus non polar minyak dan gugus polar air seimbang. Gugus nonpolar emulsifier akan mengikat minyak (partikel minyak dikelilingi) sedangkan air akan terikat kuat oleh gugus polar pengemulsi tersebut. Bagian polar kemudian akan terionisasi menjadi bermuatan negatif, hal ini menyebabkan minyak juga menjadi bermuatan negatif. Partikel minyak kemudian akan tolak-menolak sehingga dua zat yang pada awalnya tidak dapat larut tersebut kemudian menjadi stabil (Anonim, 2010b).

C. Pembuatan Serbuk Nano-karotenoid

Formulasi emulsi yang digunakan dalam pembuatan enkapsulasi karotenoid adalah formulasi 1 (konsentrat 40%, air 40% dan *Tween-80*, 20%). Ke dalam emulsi ini ditambahkan bahan penyalut maltodekstrin sebanyak 25, 50, 75 dan 100% dari bobot emulsi yang digunakan. Hasil pengamatan secara visual dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengamatan Visual Produk Nano Enkapsulasi Karotenoid

Jumlah maltodekstrin (% b/b terhadap emulsi)	Penampakan	
	Warna	Bentuk butiran
25	Jingga gelap	Gumpalan kasar
50	Jingga	Gumpalan bercampur butiran
75	Jingga kekuningan	Butiran kasar
100	Kuning	Butiran halus

Dari Tabel 3 di atas terlihat bahwa perlakuan untuk mendapatkan nano enkapsulasi karotenoid yang terbaik adalah yang ditambahkan maltodekstrin sebanyak 100%, atau dengan kata lain 1:1 terhadap jumlah nano emulsinya. Pembentukan butiran yang lebih kasar pada perlakuan yang lain diduga disebabkan karena jumlah bahan kering (maltodekstrin) yang digunakan tidak cukup untuk menyalut seluruh permukaan karotenoid yang dilapisi oleh minyak. Akibatnya sebagian minyak akan berada di luar permukaan. Adanya minyak pada permukaan ini akan melekatkan partikel-partikel nano enkapsulasi di sekitarnya sehingga akhirnya akan membentuk gumpalan. Hal ini dapat dilihat pula pada penambahan maltodekstrin yang semakin banyak, semakin halus pula ukuran partikelnya. Fenomena yang serupa terlihat pula pada pengamatan warna produk enkapsulasi. Semakin banyak maltodekstrin yang ditambahkan, warnanya akan semakin terang. Hal ini disebabkan karena semakin banyak jumlah maltodekstrin yang ditambahkan, semakin kecil persentase jumlah β -karotennya dalam seluruh campuran, sehingga intensitas warna jingga yang

berasal dari β -karoten pun akan semakin menurun.

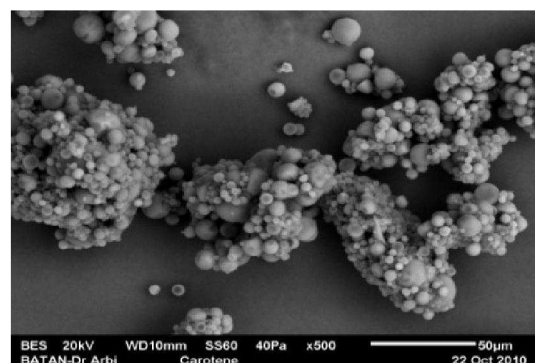
Etzel dan King (1984) dalam Bhadoni *et al.*, (1992) menyatakan bahwa laju pengeringan akan menentukan karakteristik dan mutu produk enkapsulasi yang dihasilkan. Laju pengeringan ditentukan oleh pengaturan suhu, kecepatan aliran bahan, serta ukuran droplet.

Kondisi pengeringan yang digunakan dalam penelitian ini adalah suhu udara masuk (*inlet*) 180 °C dan suhu udara keluar (*outlet*) 80 °C. Dengan kecepatan aliran bahan sebesar 10 cc/detik waktu kontak antara droplet dengan udara pengering sekitar 3-5 detik. Dari pengamatan secara visual hasil enkapsulasi nano karoten yang terbaik adalah yang dibuat dengan formulasi dengan perbandingan konsentrasi:maltodekstrin sebesar 1:1. Sedangkan hasil analisis kadar air dan β -karoten dari hasil sonikasi dan enkapsulasi karotenoid dapat dilihat pada Tabel 4.

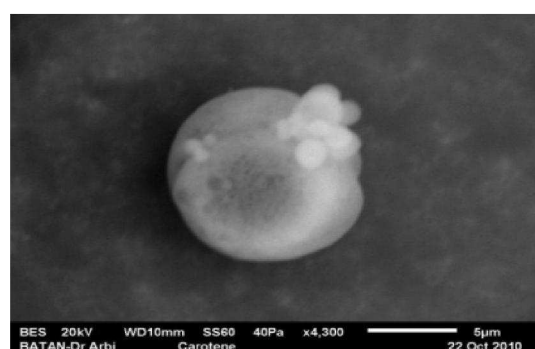
Tabel 4. Hasil Analisis Karotenoid Hasil Sonikasi Dan Produk Enkapsulasi

Parameter	Hasil	
	Sonikasi	Produk enkapsulasi
Kadar air (%)	tidak terdeteksi	4,25
β -karoten (ppm)	44.579,31	9.496,663

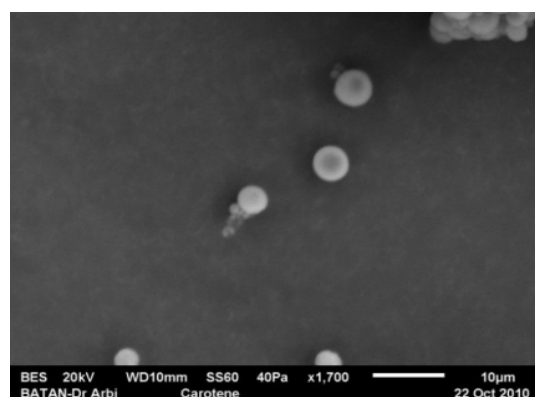
Dari Tabel 4 terlihat bahwa kandungan air hasil sonifikasi konsentrat karotenoid tidak terdeteksi, sementara kandungan air awalnya adalah 0,1069%. Jumlah air yang sangat kecil ini diduga mengalami penguapan akibat dari proses sonikasi yang dilakukan menggunakan gelombang ultrasonik yang menghasilkan energi cukup tinggi untuk menguraikan molekul air. Jumlah β -karoten yang lebih kecil pada produk enkapsulasi dapat dijelaskan karena adanya penambahan bahan pengemulsi dan penyalut maka secara keseluruhan jumlah β -karoten akan menurun per satuan berat produk.



Gambar 3. Hasil Pengamatansem Nano Enkapsulasi Karotenoid Dengan Pembesaran 500x



(a)



(b)

Gambar 4. Hasil Pengamatan SEM Nano Enkapsulasi Karotenoid Dengan Pembesaran (a) 1700x; dan (b) 4300x

Produk nano enkapsulasi karotenoid dengan penambahan maltodekstrin sebanyak 100% selanjutnya diamati menggunakan SEM dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3. Pada pembesaran 500x dapat terlihat masih adanya aglomerasi partikel hasil enkapsulasi. Ukuran partikel enkapsulasi terdiri dari partikel dengan ukuran kecil maupun

besar. Hal ini antara lain disebabkan masih adanya penyebaran distribusi ukuran partikel konsentrat nano-karotenoid, karena adanya efek aglomerasi pada partikel, sehingga distribusi kisaran ukuran partikel setelah dienkapsulasi masih terjadi. Gambar (4a dan b) menunjukkan partikel tunggal hasil enkapsulasi. Berdasarkan keterangan skala diameter, ukuran partikel tersebut berada pada kisaran 5µm.

KESIMPULAN

Proses Sonikasi untuk mendapatkan ukuran partikel nano yang optimum sebesar 24,2 – 136,1 adalah dengan *intensity power* 80 % adalah 2 jam. Hasil Formulasi enkapsulasi terbaik menggunakan formula 1 (40% konsentrat nano karotenoid, 40% air, dan 20%, *Tween 80* (2:2:1) dengan bahan pengisi maltodekstrin perbandingan 1:1 dengan kandungan β-karoten sebesar 9.496 ppm. Sehingga dapat diaplikasikan sebagai sumber sediaan suplemen provitamin A dengan perhitungan asupan harian yang ditetapkan berdasarkan kandungan beta karoten produk dan RDA (*recommended daily allowance*) beta karoten. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang umur simpan dan manfaatnya dalam tubuh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Besar Industri Agro yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2010a). *Tahun Depan Minyak Goreng Wajib Berfortifikasi Vitamin A*. www.republika.co.id. [Diakses 22 Nopember 2010].
- Anonim. (2010b.) *Emulsifier*. <http://id.wikipedia.org/wiki/Emulsifier>. [Diakses 22 Nopember 2010]
- Bhandori, B.R., Damalin. E.D., Richard, M.J., Nolean, I. and Lebert, A.M. (1992). "Flavor encapsulation by Spray Drying : Application to Citral And Linalyl Acetate", *J.Food Sci.* 57 : 217 – 221.
- Jafari, SM, Y. H, He and B. Bhandari, (2006). Nano-emulsion production by sonication and microfluidization - A comparison. *International Journal of Food Properties*, 9 3: 475-485.
- Jafari, S.M., Y.H., He. and B. Bhandari. (2007). Optimization of nano-emulsions production by microfluidization. *Journal European Food Research and Technology*. Vol. 225 No. 5 – 6, September 2007, Pages 733 – 741.
- Jafari, S.M., Y.H., He. and B. Bhandari. (2007). Production of sub-micron emulsions by ultrasound and microfluidization techniques *Journal of Food Engineering*. Vol. 2 Issue 4, September 2007, Pages 478 – 488.
- Jochenweiss, P. Takhistov, and D.Julianmcclements. (2006). Functional materials in food nanotechnology. *Journal of Food Science*, Vol. 71, No. 9, 2006, Pages R107 – R 116.
- Kentish, S.E., T.J. Wooster, M. Ashokkumar, S. Balachandran, R. Mawson and L. Simons. (2008). The use of ultrasonics for nanoemulsion preparation. *Journal of Innovative Food Science and Emerging Technology*. Vol. 9 Issue 2, April 2008, Pages 170 – 175.
- Kiokias, S. and Gordon, MH. (2004). "Antioxidant properties of carotenoids in vitro and in vivo". *Food Rev. Int.* 20 : 99 – 121.
- Liu, Y; Kathan, K; Saad Walid and Prud'homme, R.K. (2007). *Ostwald Ripening of β-Carotene Nanoparticles*. The American Physical Society. PRL. 98, 036102, USA.
- Sies, H.; Stahl, W., and Sundquist, A.R. (1992). "Antioxidant functions of vitamins. *Vitamins E and C, beta-carotene and other carotenoids*". *Ann. New York Academic Sci.* 699 : 7 – 20.
- Tan, C.P. and Nakajima, M. (2005). "Effect of polyglycerol esters of fatty acids on physicochemical properties

and stability of beta-carotene nanodispersion prepared by emulsification/evaporation method". J. Sci. Food Agric. 85 : 121 – 126.

Williams, A.W., Boileau, T.W. and Erdman, JW. (1998). "*Factors influencing the uptake and absorption of carotenoids*". *Proc. Soc. Expl. Biol. Med.* 218 : 106 – 108.